

ЛОКАЛЬНАЯ АДГЕЗИОННАЯ СДВИГОВАЯ ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ СЛОЕВ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ПЛАКИРУЮЩИМ СЛОЕМ

THE LOCAL SHEAR ADHESION STRENGTH OF BIMETAL WITH INTERMEDIATE PLATING LAYER

С.В. Смирнов¹, М.В. Мясникова¹, Н.Б. Пугачева¹, С.Т. Калашников С.Т.², А.В. Желонкин²

¹ФГБУН Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук (Россия, Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34, e-mail: marina@imach.uran.ru)

²ОАО «Государственный ракетный центр имени академика В.П. Макеева» (Россия, Челябинская обл., г. Миасс, ул. Тургоякское шоссе, 1, e-mail: src@makeyev.ru)

Abstract

The method of determination of local adhesive shear strength of the bimetal from AM26 aluminium alloy and 12X18H10T steels with intermediate plating layer of AD1 aluminium alloy was developed. It was established the vertical steps formation into the intermediate layer by indentation on the boundary of base metals. The dependences between the step size on the boundary and penetration depth of indenter at different values of adhesive shear strength were obtained.

1. Введение

Определение прочностных характеристик материалов, в том числе и биметаллических соединений, является актуальной задачей, которая успешно решается в случае стандартных испытаний механических свойств [1, 2]. Сложность возникает, когда детали имеют малые размеры, вследствие чего из них затруднительно изготовить образцы для типовых испытаний. Существуют методы определения локальной прочности биметаллических соединений путем внедрения индентора в зону соединения слоев до момента расщепления материала по границе раздела компонентов соединения. Однако эти методы непригодны для биметаллических соединений с промежуточным плакирующим слоем вследствие его более высокой пластичности по сравнению с металлом соединяемых слоев.

В настоящей работе сделана попытка разработать методику, предназначенную для исследований локальной адгезионной сдвиговой прочности сцепления слоев в биметаллических деталях малых размеров по результатам физических экспериментов и конечно-элементного моделирования процесса вдавливания индентора в зону плакирующего алюминиевого слоя на границе соединения слоев биметалла.

2. Материал и методика исследований

Для испытаний использовали образцы, вырезанные из биметаллического соединения, полученного методом совместной прокатки листов алюминиевого сплава АМг6 и коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т с покрытием из алюминиевого сплава АД1. Поверхности образцов шлифовали с использованием стандартных методик. Испытание заключалось во внедрении алмазного индентора Виккерса при нагрузках 50, 100, 200, 300 и 500 Н в зону промежуточного плакирующего слоя так, чтобы одна из диагоналей пирамидки была параллельна линии сцепления, а другая – перпендикулярна ей. Замер диагоналей полученных отпечатков проводили с помощью оптического микроскопа при 100-кратном увеличении. Для исследования поверхности

участка металла вокруг отпечатка использовали измерительную систему на базе интерференционного микроскопа NT1100 фирмы Veeco, который позволяет получать трехмерное изображение рельефа поверхности с разрешением до 300 нм в плоскости поверхности и менее 1 нм в перпендикулярном направлении.

Компьютерное моделирование процесса внедрения индентора осуществляли методом конечных элементов при помощи программного пакета ANSYSv.12.0. Модель биметаллического соединения задавали в виде трех пластин, центральная из которых представляет собой плакирующий слой со свойствами алюминия АД1.

Для определения механических характеристик компонентов соединения вырезали плоские образцы из слоев биметалла, которые подвергали одноосному растяжению на испытательной машине INSTRON 8801 при скорости нагружения 0,1 мм/мин. По результатам испытаний строили кривые деформационного упрочнения. Механические свойства алюминиевого сплава АД1 задавали из справочных данных [3].

Границы соединения слоев рассматривали как контактные пары, имеющие возможность относительного смещения после нарушения адгезионной прочности. Полная величина сдвигового напряжения τ , возникающего на границе соединения слоев складывается из величины адгезионной прочности на сдвиг A (предел прочности на сдвиг) и напряжения трения по Кулону μp при смещении слоев относительно друг друга: $\tau = A + \mu p$, где μ – коэффициент трения, p – нормальное контактное давление.

3. Результаты и их обсуждение

В результате проведения испытаний установлено, что деформационный рельеф на поверхности шлифа, видимый средствами световой микроскопии, образован в результате выдавливания вверх части металла плакирующего слоя. При этом профиль выдавленного участка плакирующего слоя представляет собой дугообразный купол с верти-

кальными ступеньками на границах слоя и соединяемых участков (рис. 1).

Высоту ступеньки измеряли с помощью интерференционного микроскопа NT1100 и полагали, что сама высота ступеньки при фиксированной глубине внедрения индентора зависит от наличия возможности относительного смещения слоев биметалла после нарушения адгезионных связей, но не определяет непосредственно предел прочности на сдвиг.

Для количественной оценки напряжений, возникающих в плоскостях соединения слоев при вдавливании индентора, использовали результаты

конечно-элементного моделирования. Из испытаний на растяжение плоских образцов определили, что величина предела сдвиговой адгезионной прочности A соединения составляет 57 - 68 МПа. Принимая величину адгезионной сдвиговой прочности соединения A в среднем равную 63 МПа, решали ряд задач с варьированием величины коэффициента трения μ в вероятном диапазоне изменения 0,1...0,3. В результате получили ряд расчетных зависимостей высоты ступеньки на выдавленном промежуточном слое от глубины вдавливания индентора для каждого значения коэффициента трения.

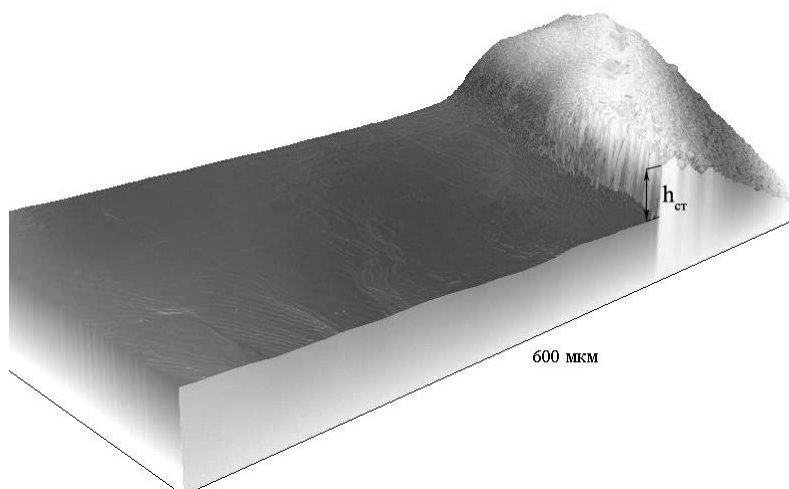


Рис. 1. Профиль участка около отпечатка индентора на границе соединения сплава АМг6 с плакирующим слоем, нагрузка 500 Н

Путем сравнения экспериментальных и расчетных данных, исходя из минимизации величины квадратичной невязки, подобрали фактический коэффициент трения на границе «плакирующий слой - сталь 12Х18Н10Т» равным 0,25, а на границе «плакирующий слой - сплав АМг6» равным 0,15. Поскольку локальная адгезионная прочность на сдвиг слоев может значительно отличаться от величины прочности сцепления слоев биметаллического соединения в целом, моделировали процесс внедрения индентора в промежуточный слой при фактической величине коэффициента трения $\mu=0,25$ на границе «плакирующий слой - сталь 12Х18Н10Т» и $\mu=0,15$ на границе «плакирующий

слой - сплав АМг6», варьируя величину адгезионной прочности в диапазоне изменения $A = 10...100$ МПа. В результате построили диаграммы зависимости высоты ступеньки на границе раздела слоев от глубины внедрения индентора при разных значениях адгезионной прочности на сдвиг (рис.2, 3).

Обработка расчетных данных, а также характерный вид полученных кривых позволяют сделать вывод, о том, что наиболее адекватные результаты моделирования получаются при минимальной глубине внедрения индентора 70-75 мкм и максимальной не более 150 - 160 мкм.

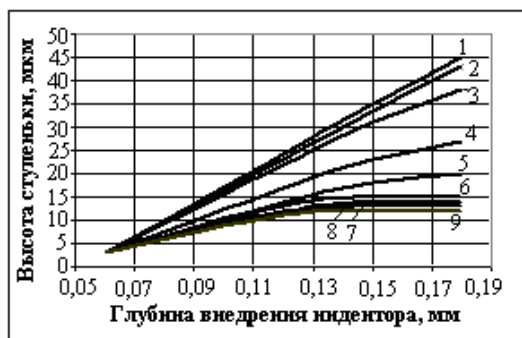


Рис. 2. Диаграмма влияния глубины внедрения индентора и сдвиговой адгезионной прочности на высоту ступеньки на границе раздела плакирующего слоя и стали 12X18H10T: 1 - $A = 10$ МПа; 2 - $A = 20$ МПа; 3 - $A = 30$ МПа; 4 - $A = 40$ МПа; 5 - $A = 50$ МПа; 6 - $A = 60$ МПа; 7 - $A = 70$ МПа; 8 - $A = 80$ МПа, $A = 90$ МПа; 9 - $A = 100$ МПа

Заключение

В результате внедрения индентора Виккерса в зону промежуточного плакирующего слоя биметаллического соединения, полученного методом совместной прокатки листов сплава АМг6 и стали 12X18H10T с плакирующим покрытием из алюминиевого сплава АД1, происходит выдавливание вверх участка слоя с образованием вертикальных ступенек на границах слоя и соединяемых участков. Такой специфический профиль выдавленного участка плакирующего слоя позволил разработать методику для исследований локальной сдвиговой адгезионной прочности сцепления слоев данного биметаллического соединения.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект №13-1-019-РЦ и гранта РФФИ 13-08-96061.

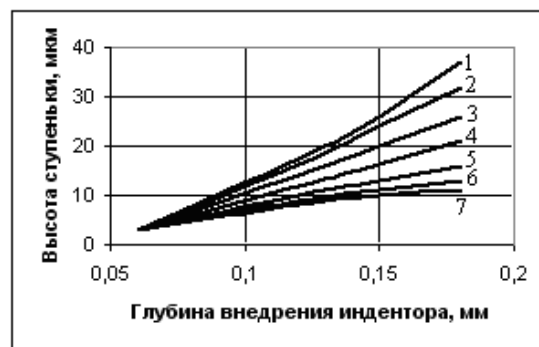


Рис. 3. Диаграмма влияния глубины внедрения индентора и сдвиговой адгезионной прочности на высоту ступеньки на границе раздела плакирующего слоя и сплава АМг6: 1 - $A = 10$ МПа; 2 - $A = 20$ МПа; 3 - $A = 30$ МПа; 4 - $A = 40$ МПа; 5 - $A = 50$ МПа; 6 - $A = 60$ МПа; 7 - $A = 70$ МПа, $A = 80$ МПа, $A = 90$ МПа, $A = 100$ МПа

Список литературы

1. Чарухина К.Е., Голованенко С.А., Мастеров В. А. и др. Биметаллические соединения. М.: Металлургия, 1970. 288 с.
2. Козлов И.А., Алексюк М.М., Гонтаровский В.П. и др. Исследование прочности биметаллических соединений // Проблемы прочности. 1975. № 2. С. 49-52.
3. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. М., Металлургия, 1984. 144 с.